

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-320960

(43)Date of publication of application : 12.12.1997

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G03F 7/20

(21)Application number : 09-071125

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 25.03.1997

(72)Inventor : NAKASUJI MAMORU
OKINO TERUAKI

(30)Priority

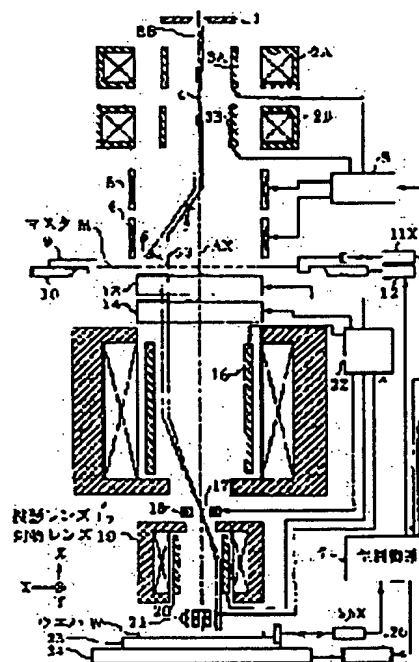
Priority number : 08 68178 Priority date : 25.03.1996 Priority country : JP

(54) CHARGED PARTICLE BEAM TRANSCRIPTION APPARATUS

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To suppress the aberration and transcript a pattern on a mask onto a substrate with high precision and with a simple construction when the pattern is scanned by a charged particle beam to transcript the pattern onto the substrate which is a transcription object.

SOLUTION: An electron beam EB is deflected by electromagnetic deflectors 5 and 6 to scan a mask M in an X-direction, and the reduced image of the pattern of the mask M is transcribed onto a wafer W through a symmetrical doublet type optical system composed of a projection lens 15 and an object lens 19 by the electron beam EB transmitted through the mask M. In that case, a mask stage 9 and a sample table 23 are synchronously driven to scan the mask M and the wafer W mechanically in a Y-direction. The X-direction width of a region to which the electron beam EB is applied is set to be narrower than its Y-direction width to regard the aberration in the electron beam application region approximately constant.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-320960

(43) 公開日 平成9年(1997)12月12日

(51) Int.Cl. ⁶	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 4 1 S
G 0 3 F 7/20	5 2 1		G 0 3 F 7/20	5 2 1

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願平9-71125

(22) 出願日 平成9年(1997)3月25日

(31) 優先権主張番号 特願平8-68178

(32) 優先日 平8(1996)3月25日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 中筋 護

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72) 発明者 沖野 輝昭

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

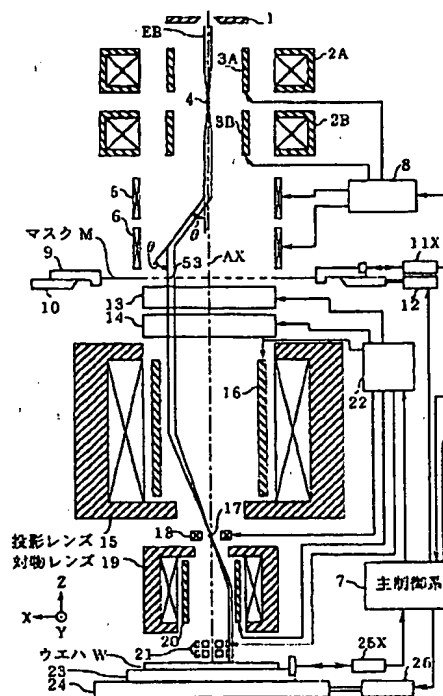
(74) 代理人 弁理士 大森 聡

(54) 【発明の名称】 荷電粒子線転写装置

(57) 【要約】

【課題】 マスク上の転写用のパターンを荷電粒子線で走査することによって、そのパターンを転写対象の基板上に転写する際に、簡単な構成で収差を抑制して高精度にパターンを転写する。

【解決手段】 電磁偏向器5、6を介してマスクM上で電子線EBをX方向に走査し、マスクMを通過した電子線EBによって投影レンズ15及び対物レンズ19よりなる対称磁気ダブレット方式の光学系を介してウエハW上にマスクパターンの縮小像を転写する。その際にマスクステージ9及び試料台23を駆動してマスクM及びウエハWをY方向に同期して機械的に走査し、マスクM上での電子線EBの照射領域のY方向の幅に対してX方向の幅を狭く設定することによって、その電子線の照射領域内での収差がほぼ一定であるとみなせるようにする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 転写用のパターンが形成されたマスクを荷電粒子線で所定の走査方向に走査して、前記パターンを転写対象の基板上に転写する荷電粒子線転写装置において、

前記走査方向の幅が前記走査方向に垂直な非走査方向の幅に比べて狭い断面形状を有する荷電粒子線で前記マスク上を前記走査方向に走査する走査手段と、

前記マスクを透過した前記荷電粒子線を集束して前記基板上に前記パターンの一部の像を形成する軸対称の投影手段と、を有することを特徴とする荷電粒子線転写装置。

【請求項2】 請求項1記載の荷電粒子線転写装置であって、

前記走査手段により走査される荷電粒子線の偏向角を θ としたとき、前記走査手段に対する駆動信号は、変化率が $\theta/\sin \theta$ に比例するように設定されることを特徴とする荷電粒子線転写装置。

【請求項3】 請求項1、又は2記載の荷電粒子線転写装置であって、

前記軸対称の投影手段は、複数の電磁レンズより構成され、

該複数の電磁レンズ中の少なくとも1つの電磁レンズ内に配置された実質的に軸対称の導電性の電極と、

前記走査手段を介して荷電粒子線で前記マスクを走査する際に、前記電極に印加する電位を制御することによって前記投影手段の焦点距離を制御する焦点距離制御手段と、を備えたことを特徴とする荷電粒子線転写装置。

【請求項4】 請求項1、又は2記載の荷電粒子線転写装置であって、

前記マスクを透過した荷電粒子線のビーム電流の時間変化に応じて前記投影手段の焦点距離を補正する焦点距離補正手段を設けたことを特徴とする荷電粒子線転写装置。

【請求項5】 転写用のパターンが形成されたマスクを荷電粒子線で所定の走査方向に走査して、前記パターンを転写対象の基板上に転写する荷電粒子線転写装置において、

前記荷電粒子線の強度分布のばらつきを走査後に相殺あるいは低減するような断面形状を有する荷電粒子線で前記マスク上を前記走査方向に走査する走査手段と、

前記マスクを透過した前記荷電粒子線を集束して前記基板上に前記パターンの一部の像を形成する投影手段と、を有することを特徴とする荷電粒子線転写装置。

【請求項6】 請求項5記載の荷電粒子線転写装置であって、

前記マスクを透過した荷電粒子線の非点収差を補正するための非軸対称の非点補正コイル、又は偏向装置を設け、

前記荷電粒子線の強度分布が前記走査方向においてリッ

プルを持って変動する場合に、

前記荷電粒子線の断面形状は、前記走査方向の幅が前記リップルの幅より広い、あるいは、

前記荷電粒子線の強度分布が、中央部で高く周辺部で低い場合に、

前記荷電粒子線の断面形状は、前記走査方向に垂直な非走査方向の中央部が狭くなっていることを特徴とする荷電粒子線転写装置。

【請求項7】 請求項1、2、5、又は6記載の荷電粒子線転写装置であって、

前記走査方向に垂直な非走査方向に前記マスク及び前記基板を同期して移動するステージ装置を設け、

前記マスクとして、パターン領域が前記非走査方向に対して、前記走査手段により走査される荷電粒子線の長手方向の幅に対応する幅の複数の視野に分割されると共に、各隣接する2つの視野が互いに重複する部分を有するマスクが設置された際に、

前記ステージ装置を介して前記マスク及び前記基板を前記非走査方向に移動しつつ、前記走査手段を介して前記マスク上で前記荷電粒子線を前記走査方向に走査することによって、

前記マスク上の各隣接する2つの視野の互いに重複する部分を前記基板上に重ねて転写することを特徴とする荷電粒子線転写装置。

【請求項8】 請求項5、6、又は7記載の荷電粒子線転写装置であって、

前記マスクを透過した荷電粒子線のビーム電流の時間変化に応じて前記投影手段の焦点距離、非点収差、及び偏向器電流のすべてを補正する結像特性補正手段を設けたことを特徴とする荷電粒子線転写装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、例えば半導体集積回路等を製造するためのリソグラフィ工程で、電子線やイオンビーム等の荷電粒子線の照射によりマスクパターンを感光性の基板上に転写するための荷電粒子線転写装置に関し、特に超高密度の微細パターンを高いスループットで半導体ウエハ上に転写する場合等に使用して好適なものである。

【0002】

【従来の技術】近年、転写パターンの解像度の向上とスループット（生産性）の向上との両立を可能とした荷電粒子線転写装置の検討が進められている。このような転写装置としては、従来より1ダイ（1枚のウエハに形成される多数の集積回路の1個分に相当する回路パターン。）又は複数ダイ分のパターンをマスクから、荷電粒子線に感光するレジストが塗布されたウエハ等の基板上へ一括して転写する一括転写方式の装置が検討されていた。ところが、一括転写方式は、転写の原版となるマスクの製作が困難で、且つ1ダイ分以上の大きな光学フィ

ールド内で荷電粒子光学系（以下、単に「光学系」と呼ぶ）の収差を所定値以下に収めることが難しい。そこで、最近では基板に転写すべきパターンを1ダイに相当する大きさよりも小さい複数のスリット状の視野に分割し、各視野毎のパターンを順次荷電粒子線で長手方向に走査することによって基板上に転写する方式の装置が提案されている（例えば特公平7-32111号公報参照）。

【0003】以下では、荷電粒子線転写装置として、電子線を用いてマスクパターンをウエハ上に縮小して転写する電子線縮小転写装置を例に取って説明する。そのようにマスク上の各視野毎のパターンを長手方向に走査して転写する方式の電子線縮小転写装置では、先ずマスク上の転写対象のスリット状の視野に沿って電子線を走査するために、走査用偏向器が使用される。次に、そのマスク上で電子線が照射された領域のパターンをウエハ上に転写するために、縮小投影光学系が使用される。この縮小投影光学系は、スリット状の細長い視野のパターンを高精度にウエハ上に転写する必要があるため、できるだけ大きな視野で諸収差の小さいことが望まれる。そのような光学系としては、①MOL (Moving Objective Lens)方式、又は②PREVAIL (Projection Lithography with Variable Axis Immersion Lens)方式等が提案されていた。これらの方式は偏向器と軸対称のレンズとを組み合わせる方式である。即ち、①のMOL方式は、対物レンズの軸を偏向器による偏向磁場を用いて動かすことによって、広い視野にしたときの収差を小さくする方式であり、②のPREVAIL方式は、MOL方式と同様の方式であるが、対物レンズとして転写対象の基板がレンズの内側に収まる所謂インレンズ型のレンズを使用する方式である。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記の如き従来の技術においては、マスク上のスリット状の視野のパターンを転写するための、できるだけ大きな視野で諸収差の小さい縮小投影光学系として、偏向器と軸対称なレンズとを組み合わせた光学系が有望であるとされていた。しかしながら、偏向器は光軸に関して非回転対称であるため、偏向器を含む光学系を使用すると、ウエハ上に転写される投影像に非回転対称な収差が混入し易いという不都合があった。この場合、例えば電氣的にそのような非回転対称な収差又は非軸対称な収差を補正することは可能であるが、補正機構が複雑化して製造コストが高くなる。

【0005】また、従来は、マスク上のスリット状の視野に沿って電子線を走査するための走査用偏向器に単純な鋸歯状波の信号を与えていた。しかしながら、この方式では電子線が光軸から離れるに従って電子線の走査速度が遅くなって、ウエハ上の光軸から離れた領域での露光量が多くなり、結果として電子線レジストに対する露光エネルギー（積算露光量、又はドーズ）の分布が不均

一になるという不都合があった。

【0006】更に、そのようにマスク上の各視野毎のパターンを長手方向に走査して転写する方式では、隣接する視野のパターンをウエハ上で正確に継ぎ合わせて転写する必要がある。これに関して、最近では転写されるパターンの集積度が益々向上しているために、従来のつなぎ精度では十分ではなくなりつつある。また、従来の転写装置では、ウエハ上での投影像のフォーカス位置（結像面の位置）を補正するために例えば電磁レンズに供給する駆動電流を制御していた。しかしながら、電磁レンズは応答速度が遅いため、各視野のパターンを長手方向に走査して転写を行う場合に、その走査に同期してダイナミックに投影像のフォーカス位置を補正するためにはその走査速度を遅くする必要があった。そのため、転写工程のスループット（生産性）を高められないという不都合があった。

【0007】また、そのようにマスク上の各視野毎のパターンを長手方向に走査して転写する方式では、走査と共にパターン密度等によって電子線のビーム電流が変化するため、そのスリット状の視野の全体で縮小投影光学系における合焦条件が必ずしも満たされていなかった。そのため、ウエハ上に転写された像の解像度が部分的に低下するという不都合があった。

【0008】更に、例えば電子銃を温度制御領域で使用するような場合には、ビーム整形用のアパーチャ上に照射される電子線の断面での強度分布が所定の周期（幅）で周期的に変動し、マスクに照射される電子線の強度分布も変動することがある。このようにマスクに照射される電子線の断面での照射強度分布の一様性があまり良くない状態で、マスク上を電子線で走査して露光を行う場合には、ウエハ上での露光エネルギー（ドーズ）の一様性が改善されない場合があった。また、電子線の強度分布は通常対称軸の周りにガウス分布状となっているため、電子線の照射領域（視野）を広くして走査露光を行う場合には、走査方向に直交する非走査方向で或る程度のドーズのむらが生ずる恐れがあった。

【0009】本発明は斯かる点に鑑み、マスク上の転写用のパターンを荷電粒子線で走査することによって、そのパターンを転写対象の基板上に転写する際に、簡単な構成で収差を抑制して高精度にパターンを転写できる荷電粒子線転写装置を提供することを第1の目的とする。また、本発明は、マスク上の転写用のパターンを荷電粒子線で走査することによって、そのパターンを転写対象の基板上に転写する際に、その荷電粒子線の走査速度を均一化してその基板上での露光量分布を一様にできる荷電粒子線転写装置を提供することを第2の目的とする。

【0010】更に、本発明は、マスク上の転写用のパターンを荷電粒子線で走査することによって、そのパターンを転写対象の基板上に転写する際に、所定のパターンを高いつなぎ精度でその基板上で継ぎ合わせて転写でき

る荷電粒子線転写装置を提供することを第3の目的とする。更に、本発明は、マスク上の転写用のパターンを荷電粒子線で走査することによって、そのパターンを転写対象の基板上に転写する際に、その基板上での荷電粒子線による投影像のフォーカス位置を高い応答速度で補正できる荷電粒子線転写装置を提供することを第4の目的とする。

【0011】更に、本発明は、マスク上の転写用のパターンを荷電粒子線で走査することによって、そのパターンを転写対象の基板上に転写する際に、その走査方向に沿って荷電粒子線のビーム電流が変化した場合でも投影光学系での合焦条件を常に満足できる荷電粒子線転写装置を提供することを第5の目的とする。更に、本発明は、マスク上の転写用のパターンを荷電粒子線で走査することによって、そのパターンを転写対象の基板上に転写する際に、その荷電粒子線の強度分布にむらがある場合でも、走査後の試料上での積算露光量のむらが少ない荷電粒子線転写装置を提供することを第6の目的とする。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明による第1の荷電粒子線転写装置は、例えば図1、図2に示すように、転写用のパターンが形成されたマスク(M)を荷電粒子線で所定の走査方向(X方向)に走査して、そのパターンを転写対象の基板(W)上に転写する荷電粒子線転写装置において、その走査方向の幅(dX)がその走査方向に垂直な非走査方向の幅(dY)に比べて狭い断面形状(53)を有する荷電粒子線でマスク(M)上をその走査方向に走査する走査手段(5, 6)と、マスク(M)を透過した荷電粒子線を集束して基板(W)上にそのパターンの一部の像を形成する軸対称の投影手段(15, 19)と、を有するものである。

【0013】斯かる本発明によれば、例えば対称磁気ダブルレット方式のレンズのような軸対称の投影手段(15, 19)を用いているため、全ての収差は光軸からの距離にのみ依存し、回転方向の位置には依存しない。また、マスク(M)上を走査する荷電粒子線の断面形状(53)の走査方向の幅は狭いため、その荷電粒子線の内部での光軸からの距離差は小さい。従って、その荷電粒子線の断面形状(53)の内部ではほぼ同一の収差補正条件でよいから、残留収差を非常に小さくして、高精度に転写できる。

【0014】この場合、その荷電粒子線の断面での強度分布がほぼ一様とみなせるときには、その荷電粒子線の断面形状(53)の走査方向の幅(dX)は、非走査方向の幅(dY)の1/5以下であることが望ましい。これによって、その荷電粒子線が走査方向に光軸から離れた位置にあっても、その荷電粒子線内部では同一の収差補正条件が適用できる。

【0015】また、その走査手段(5, 6)により走査

される荷電粒子線の偏向角を θ としたとき、その走査手段に対する駆動信号は、変化率が $\theta/\sin \theta$ に比例するように設定することが望ましい。これに関して、走査手段(5, 6)として電磁偏向器を使用するものとする

と、その偏向角 θ はその電磁偏向器に流す電流に比例するため、その偏向器に流す電流を時間に比例する値とすると、偏向角 θ が0に近い領域ではマスクに対する荷電粒子線の走査速度が速くなり、周辺では遅くなる。そこで、本発明のように偏向器に流す電流の時間変化を $(\theta/\sin \theta)$ に比例するようにすれば、光軸からの距離に関係なく荷電粒子線の走査速度が一定となり、基板(W)上での露光量(ドーズ)の分布を一様にする。

【0016】また、その軸対称の投影手段を、複数の電磁レンズ(15, 19)より構成し、これら複数の電磁レンズ中の少なくとも1つの電磁レンズ内に配置された実質的に軸対称の導電性の電極(16, 20)と、その走査手段を介して荷電粒子線でマスク(M)を走査する際に、電極(16, 20)に印加する電位を制御することによってその投影手段の焦点距離を制御する焦点距離制御手段(7, 22)と、を備えることが望ましい。

【0017】このとき、電極(16, 20)に印加する電位を制御するという静電方式は応答速度が極めて速いため、荷電粒子線の走査に同期してダイナミックにフォーカス位置の調整が行われる。更に、マスク(M)を透過した荷電粒子線のビーム電流の時間変化に応じて投影手段(15, 19)の焦点距離を補正する焦点距離補正手段(16, 20)を設けることが望ましい。このとき、荷電粒子線が走査方向に移動するに従って、その荷電粒子線内部に含まれるマスク(M)の原画パターン(開口パターン)の総面積が変化して、空間電荷効果も時間的に変動する。即ち、フォーカス位置はビーム電流が大きい時点では遠くへ移動し、逆にビーム電流が小さいときは手前へ移動する。そこで、例えば予めマスク(M)の原画パターンに基づいて走査方向の位置の関数としてビーム電流を求めておき、走査に同期して焦点距離補正手段(16, 20)を動作させることによって、常に合焦条件で転写が行える。

【0018】次に、本発明による第2の荷電粒子線転写装置は、例えば図7～図17に示すように、転写用のパターンが形成されたマスク(M)を荷電粒子線で所定の走査方向に走査して、そのパターンを転写対象の基板(W)上に転写する荷電粒子線転写装置において、その荷電粒子線の強度分布のばらつきを走査後に相殺あるいは低減するような断面形状(53A; 53B; 53C)を有する荷電粒子線でマスク(M)上をその走査方向に走査する走査手段(5, 6)と、マスク(M)を透過したその荷電粒子線を集束して基板(W)上にそのパターンの一部の像を形成する投影手段(15, 19)と、を有するものである。

【0019】斯かる本発明の第2の荷電粒子線転写装置

において、荷電粒子線の断面での強度分布が、例えば図15に示すようにガウス分布状である場合、中心での強度 I を1として、強度 I が0.9までの幅 L の正方形の断面領域(53B)を用いるとすると、ステップアンドリピート方式で転写するのでは積算露光量(ドーズ)の一様性の誤差は10%程度となる。これに対して、その幅 L の正方形の断面の荷電粒子線でマスク上を走査すると(走査方向を X 方向とする)、走査方向の露光量むらは無くなる。また、非走査方向(この場合には Y 方向)での積算露光量は、図16(b)に示すように、中央部で最大値0.97に減少し、周辺部は最小値0.94程度に増加し、積算露光量の一様性の誤差は3%程度となり大幅に改善される。

【0020】この非走査方向への積算露光量の一様性を更に向上するためには、図17、及び図18(a)に示すように、その荷電粒子線の断面の非走査方向(Y 方向)の中央部を狭くした断面領域(53C)を使用すればよい。この断面の荷電粒子線でマスク上を X 方向に走査することによって、非走査方向の積算露光量は図16(b)に対応した図18(b)に示すように0.94で一定となる。従って、走査方向、非走査方向共にほぼ完全な積算露光量の一様性が得られる。

【0021】この場合、この第2の荷電粒子線転写装置においては、マスク(M)を透過した荷電粒子線の非点収差を補正するための非軸対称の非点補正コイル、又は偏向装置を設け、その荷電粒子線の強度分布がその走査方向においてリップルを持って変動する場合に、その荷電粒子線の断面形状は、その走査方向の幅がそのリップルの幅より広い、あるいは、その荷電粒子線の強度分布が、中央部で高く周辺部で低い場合に、その荷電粒子線の断面形状は、その走査方向に垂直な非走査方向の中央部が狭くなっていることが望ましい。

【0022】逆に、上記強度分布が対称軸の周りに中央部で低く周辺部で高い場合には、上記荷電粒子線の断面形状の非走査方向の中央部が広がっていればよい。この場合、その非軸対称の非点補正コイル等によって、荷電粒子線の非点収差が補正される。また、例えば図10に示すように、荷電粒子線の強度分布が走査方向に所定のリップル幅 G で変動する場合には、例えば図9に示すように、荷電粒子線の断面の走査方向の幅 L をリップル幅 G よりかなり大きく、例えば偶数倍等に設定することによって、リップルによって積算露光量にむらが生ずることが防止される。また、荷電粒子線の強度分布がガウス分布の場合には、上記の通りである。

【0023】これに関して、そのように非走査方向の中央部の幅が狭くなった断面の荷電粒子線を生成するには、例えば図19に示すように、中央部が狭くなった開口80が形成されたビーム成形板(1B)を使用すればよい。この際に、更に2次元的位置や回転角が補正できる補正板(S1)で荷電粒子線を遮断してもよい。荷

電粒子線の分布が経時変化で変化したような場合に、その補正板(S1)の遮断量を制御することで、積算露光量分布を常に均一にできる。

【0024】この第2の荷電粒子線転写装置においては、マスク(M)を透過した荷電粒子線のビーム電流の時間変化に応じてその投影手段の焦点距離、非点収差、及び偏向器電流のすべてを補正する結像特性補正手段を設けることが望ましい。これによって、マスクパターンの粗密等によってビーム電流が変化しても良好な結像特性が得られる。

【0025】更に、上述の本発明の第1、又は第2の荷電粒子線転写装置においては、その走査方向に垂直な非走査方向(Y 方向)にマスク(M)及び基板(W)を同期して移動するステージ装置(9, 23)を設け、マスク(M)として、パターン領域がその非走査方向に対して、その走査手段により走査される荷電粒子線の長手方向の幅に対応する幅の複数の視野(51A, 51B)に分割されると共に、各隣接する2つの視野が互いに重複する部分(31A, 31B)を有するマスクが設置された際に、そのステージ装置を介してマスク(M)及び基板(W)をその非走査方向に移動しつつ、その走査手段を介してマスク(M)上でその荷電粒子線をその走査方向に走査することによって、マスク(M)上の各隣接する2つの視野の互いに重複する部分(31A, 31B)を基板(W)上に重ねて転写することが望ましい。

【0026】この場合、例えば図5に示すように、荷電粒子線を走査することによって基板(W)上で従来方式での境界線(59)を跨ぐようなパターン(37W)を転写するものとする、図4に示すようにその原画パターン(37)を、マスク(M)上の隣接する視野(51A, 51B)内の重複して転写される部分(31A, 31B)の一方(31B)内に形成しておく。そして、視野(51A, 51B)内の原画パターンを基板(W)上で部分的に重なるように対応する転写領域(58A, 58B)に転写すると、原画パターン(37)の像のパターン(37W)には継ぎ目が無いか、あるいは継ぎ目を目立たない状態にできるため、実質的につなぎ誤差を大幅に改善できる。

【0027】更に、マスク上で荷電粒子線によって走査される一列の視野(51A)内の最もパターン密度の高い部分のパターン密度、あるいはマスク(M)内で最もパターン密度の高い部分のパターン密度に対応させて、各走査毎あるいは各マスク毎に荷電粒子線の電流密度を調整することが望ましい。このとき、コンタクトホール層のようなパターン密度の小さい層(レイヤー)では、電流密度を大きくし、配線層のようにパターン密度の大きい層では電流密度を小さくして、ビーム電流が各層であまり差がないようにすれば、空間電荷効果による荷電粒子線のぼけを小さくできる。更に、同じ層でも視野毎に電流密度を調整すれば更に効果的である。

【0028】

【発明の実施の形態】以下、本発明による荷電粒子線転写装置の第1の実施の形態につき図1～図6を参照して説明する。本例は、マスク上の複数のスリット状の視野（主視野）のパターンを、順次電子線で走査してウエハ上に転写する電子線縮小転写装置に本発明を適用したものである。

【0029】図1は本例の電子線縮小転写装置の概略構成を示し、この図1において、光学系（電子光学系）の光軸AXに垂直にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で図1の紙面に平行にX軸を、図1の紙面に垂直にY軸を取って説明する。まず、不図示の電子銃から放出された電子線は、ビーム成形アパーチャ1上に照射され、ビーム成形アパーチャ1の長方形の開口で断面形状が成形された電子線EBは、第1コンデンサレンズ2Aを介してクロスオーバー4を形成した後、第2コンデンサレンズ2Bを介して平行ビームとなってマスクMに向かう。その後、電子線EBは前段の電磁偏向器5によってX方向に沿って偏向角 θ だけ偏向され、後段の電磁偏向器6によってX方向に沿って $-\theta$ だけ振り戻されて、マスクM上の1つのX方向に長い視野上に垂直に入射する。マスクMとビーム成形アパーチャ1とは共役であり、マスクM上でビーム成形アパーチャ1の開口の像であるY方向に長い長方形の副視野53に電子線EBが照射される。

【0030】電磁偏向器5、6における電子線の偏向量は、装置全体の動作を統轄制御する主制御系7が偏向フォーカス制御部8を介して設定する。本例では、電磁偏向器5、6に対する駆動電流は、偏向角 θ を用いて変化率が $\theta/\sin \theta$ に比例するように設定される。これによって、電子線EBはマスクM上に垂直に入射する条件を維持して、X方向に沿って一定速度で走査するようになり、マスクM及びウエハWに対する電子線の露光量（ドーズ）の分布が一様になる。

【0031】また、電磁レンズよりなるコンデンサレンズ2A及び2Bの内側にはそれぞれ導電性の円筒状の電極3A及び3Bが設置され、電極3A及び3Bには偏向フォーカス制御部8から可変の電圧が印加されている。本例では、予めマスクM上のパターン密度を調べておき、パターン密度の小さい視野内では電子線の電流密度を大きくし、パターン密度の大きい視野内ではその電流密度を小さくして、各視野間でマスクMを通過した後のビーム電流にあまり差がないようにして空間電荷効果による電子線EBのぼけを小さくしている。一方、コンデンサレンズ2A、2Bにおいても、ビーム電流が大きいと焦点距離が長くなり、ビーム電流が小さいと焦点距離が短くなるため、電子線の電流密度に応じて電極3A、3Bに印加する電圧を制御して、コンデンサレンズ2A、2Bの焦点距離を調整している。これによって、常にビーム成形アパーチャ1とマスクMとの共役関係を維持している。

【0032】その電子線用のマスクとしては、窒化シリコン（SiN）等の薄膜にて電子線の透過部を形成し、その薄膜の表面に設けたタングステン等の薄膜を散乱部とする所謂散乱マスク、又はシリコン製の散乱基板内に設けた抜き穴を電子線の透過部とする所謂穴空きステンシルマスク等が存在するが、本例のマスクMとしては何れのマスクでも使用できる。

【0033】図1において、マスクMの副視野53内のパターンを通過した電子線EBは、投影レンズ15により一度光軸AX上でクロスオーバー17を形成した後、対物レンズ19を介して縮小倍率 β （ β は例えば $1/4$ ）で反転縮小されて、電子線レジストが塗布されたウエハW上の転写領域に副視野53内のパターンの像を形成する。投影レンズ15、及び対物レンズ19は対称磁気ダブルレットの条件を満たし、且つそれぞれの内部に円筒状の導電体よりなる電極16及び20が配置され、主制御系7の制御のもとで偏向フォーカス制御部22を介して、電極16及び20に対して可変の同一の電圧が印加されている。本例では、マスクM上のX方向での電子線EBの照射位置に応じて、電極16及び20に対する電圧を同時に変化させることで、投影レンズ15及び対物レンズ19よりなる投影光学系の焦点距離をダイナミックに制御する。実際には、電極16によってクロスオーバー17の位置が一定の位置になるように制御され、電極20によって投影像のフォーカス位置（結像面の位置）が一定の位置になるように制御される。

【0034】また、投影レンズ15とマスクMとの間に、それぞれ光軸AXを挟むように配置されたX方向に長い1対の平板状の導電体よりなる静電偏向器13及び14が配置されている。前段の静電偏向器13は電子線EBをY方向に偏向し、後段の静電偏向器14はその電子線EBを振り戻す役割を有し、静電偏向器13、14における電子線の偏向量は、主制御系7が偏向フォーカス制御部22を介して設定する。

【0035】更に、図1において、クロスオーバー17が形成される位置を囲むように非点収差補正用の8極の電磁偏向器18が配置されている。電磁偏向器18における補正量は偏向フォーカス制御部22により設定される。また、対物レンズ19とウエハWとの間にそれぞれ8極の2段の静電偏向器21が配置され、静電偏向器21の偏向量も偏向フォーカス制御部22により設定されている。静電偏向器21によって高速にウエハW上での電子線EBの照射位置をX方向、及びY方向に変化させることができる。本例では、マスクMとウエハWとはY方向に同期して走査されるが、その際のマスクMとウエハWとの間の相対振動の補正、及び投影光学系のディストーション等の歪の補正を行うためにその静電偏向器21が使用される。

【0036】次に、マスクMはマスクステージ9内にXY平面と平行に取り付けられ、マスクステージ9は、マ

スクベース10に連結されたマスクステージ駆動部12によりY方向に連続移動し、X方向にステップ移動できるように構成されている。マスクステージ9のX方向はレーザ干渉計11Xで検出されて主制御系7に出力される。

【0037】一方、ウエハWは、可動ステージ24に設置された試料台23上にXY平面と平行に保持されている。試料台23は、可動ステージ24に連結されたウエハステージ駆動部26によりY方向に連続移動できると共に、X方向にステップ移動できるように構成されている。試料台23のY方向の位置は、レーザ干渉計25Xで検出されて主制御系7に出力される。

【0038】図2は図1の転写装置をX方向に見た一部を断面とした側面図を示し、この図2に示すように、マスクステージ9のY方向の位置及び回転角はレーザ干渉計11Y1、11Y2で検出されて、図1の主制御系7に出力される。同様に、試料台23のY方向の位置、及び回転角もレーザ干渉計25Y1、25Y2で検出されて、図1の主制御系7に出力されている。

【0039】図1に戻り、不図示の露光データ記憶装置より、露光対象のマスクMのパターン構成や、ウエハW上の複数の転写領域の配列の情報等の露光データが主制御系7に供給される。この露光データに基づいて、主制御系7は偏向フォーカス制御部8、22を介してマスクM上での電子線の走査速度及び転写像の焦点位置等を制御すると共に、マスクステージ9及びウエハ側の試料台23の位置及び走査速度等を制御することによって、ウエハW上の各転写領域にそれぞれマスクMの転写用のパターンの縮小像を転写する。

【0040】図3は、本例の電子線縮小転写装置による転写方法の説明図であり、この図3において、マスクMの転写用パターンはY方向に一種の棧よりなる境界領域52A、52B、52C、…を挟んで、複数のX方向に細長い長方形の主視野51A、51B、51C、…に分割されている。これらの主視野51A、51B、…にはそれぞれウエハに転写すべきパターン形状に対応する電子線の透過部が設けられ、境界領域52A、52B、…は、電子線を遮断しあるいは拡散する非パターン領域である。

【0041】そして、図1の電磁偏向器5、6等を介してマスクM上の主視野51AをY方向に覆う矩形の副視野53に電子線EBが照射され、主視野51Aを通過した電子線EBは、ウエハW上の1つの転写領域55A内の矩形の露光領域56に垂直に入射する。この状態で、その電磁偏向器5、6を介して、マスクM上を電子線EBの副視野53が順次+X方向、及び-X方向に走査される。この際に、各主視野51A、51B、…のX方向（長手方向）の長さは、転写対象の半導体チップの1チップ分の原版パターンの短辺方向の幅に等しく設定してある。但し、その各主視野51A、51B、…のX方向

の長さをその原版パターンの短辺方向の幅より広く設定してもよい。これによって、走査方向にはウエハW上でつなぎ目が発生することがなくなり、高精度に転写が行われる。

【0042】ところが、このようにマスクM上の各主視野51A、51B、…の走査方向の長さを長くすると、光軸AXから離れた位置での収差が増加してしまう。そこで、本例では先ず、図1に示したように投影レンズ15及び対物レンズ19よりなる対称磁気ダブルレット方式の軸対称の光学系を使用して、投影像の収差を光軸AXからの半径のみの関数とする。更に、図3において、マスクM上の副視野53のX方向（走査方向）の幅dXを小さく設定する。具体的に、その幅dXを、それと垂直なY方向の幅dYに対して $1/5$ 以下となるように設定する。これによって、副視野53が光軸AXに対して離れた位置にあっても、副視野53内で光軸AX側の端部と光軸AXと反対側の端部とで収差の状態は殆ど同一とみなすことができる。従って、例えば副視野53の中心のX方向の位置に応じて収差等の補正を行うのみで、ウエハW上の露光領域56に対して歪の無い高い解像度のパターン像を転写できる。

【0043】また、その電子線EBの走査と同期して、マスクMが-Y方向（又は+Y方向）に連続的に走査されると共に、ウエハWが+Y方向（又は-Y方向）に連続的に走査される。その結果、マスクM上を軌跡54に沿って順次電子線EBの副視野53が+X方向、及び-X方向に交互に走査して、マスクM上の主視野51A、51B、…のパターンが順次、ウエハW上の転写領域55A内で軌跡57に沿ってX方向に細長い長方形の部分転写領域58A、58B、…に転写される。マスクMの走査方向とウエハWの走査方向とが逆であるのは、図1の投影レンズ15及び対物レンズ19によりウエハW上に反転像が投影されるからである。その後、ウエハW上の隣接する転写領域55Bにも同様にマスクMのパターンが転写される。

【0044】この際に、マスクM上の主視野51A、51B、…に対応するウエハW上の部分転写領域58A、58B、…はY方向に部分的に重なるように接続されている（詳細後述）。このようにウエハW上で部分転写領域58A、58B、…をY方向に所定幅ずつ重ねて継ぎ合わせるために、図1の2つの静電偏向器13、14が使用される。ここで、マスクM上の主視野51A、51B、…のY方向の幅dY1（重複して転写される一方の部分の幅を除いた値とする）、境界領域52A、52B、…のY方向の幅dY2、及びマスクMからウエハWへの縮小倍率 β を使用してマスクMとウエハWとの走査速度の関係を求める。そのため、図2に示すように、マスクMの走査速度をVM、ウエハWの走査速度をVWとすると、ウエハW上ではほぼ境界領域52A、52B、…の幅分だけパターンが位置ずれされて転写されるた

め、ウエハWの走査速度VWは、マスクMの走査速度VMに対して次のように設定される。

$$VW = \beta \{ dY1 / (dY1 + dY2) \} VM \quad (1)$$

これによって、マスクM上で転写されるパターンは、ほぼ光軸AXを横切る位置に達した各主視野51A、51B、…となり、ウエハW上の各部分転写領域毎に、投影されるパターン像の焦点位置や投影像の歪み等の諸収差を補正しながら転写が行われる。

【0046】次に、本例の転写装置では、X方向では連続的な走査によって転写が行われるために、つなぎ誤差は発生しない。しかしながら、X方向に垂直なY方向に対しては、つなぎ誤差が発生する恐れがある。そこで、以下ではY方向でのつなぎ誤差を無視できる程度に小さくするか、又はそのつなぎ誤差を目立たなくする方法の一例につき説明する。

【0047】ここで、本例で転写対象とするウエハ上の回路パターンを、図5に示すような回路パターンであるとする。図5はウエハW上の回路パターンの拡大図であり、この図5において、点線の境界線59は、従来の転写方式での境界線、即ち図3の部分転写領域58A及び58BをY方向に隙間無く転写したときの境界線である。なお、実際には、ウエハW上にはマスクM上のパターンの反転像が転写されるが、図5では分かり易くするために、正立像が転写されるものとして説明する。図5において、境界線59を横切るように形成されている回路パターン37W、32W、60、61には、従来の転写方式ではつなぎ誤差が発生する恐れがある。具体的に、回路パターン37Wは大部分は上側の部分転写領域（従来の方式での部分転写領域）にあるが、下側の部分転写領域にも少しはみ出している。逆に回路パターン32Wは大部分は下側の部分転写領域にあるが、上側の部分転写領域にもはみ出している。そして、回路パターン60は境界線59の両側に長く延びているが、境界線59の近傍に折曲がり部60aがある。回路パターン61も同様に境界線59の両側に長く延びているが、精度が必要なのは境界線59を横切る細い部分61aのみであるとする。

【0048】このような回路パターンに対してつなぎ誤差を目立たなくするため、本例ではマスクM上の隣接する細長い視野のパターン内に重複して露光される部分を設ける。図4は、本例のマスクM上のパターンの一部の拡大図であり、この図4において、マスクM上の主視野51A及び51Bが境界領域52Aを挟んで配置されている。このとき、主視野51A内で境界領域52Aに接する所定幅の重複部31A、及び主視野51B内で境界部52Aに接する同一幅の重複部31Bを設定し、重複部31A及び31B内のパターンをウエハW上で同一の転写領域に転写するものとする。一例として、主視野51A、51BのY方向の幅は約250μmであり、重複領域31A、31BのY方向の幅は約10μmである。

【0045】

同様に、図3において、マスクM上の他の主視野51B、51C、…においても、隣接する視野間に重複部を設ける。

【0049】この場合、図4において、電子線の照射領域である副視野53がマスクM上の主視野51Aを+X方向に走査した後、主視野51Bを-X方向に走査することによって、図5に示すように、ウエハW上では主視野51A及び51Bに対応する部分転写領域58A及び58Bが部分的に重複しており、この部分的に重複した領域の中心線が従来の境界線59に対応している。

【0050】また、図4において、マスクM上の主視野51Aでは、図5の回路パターン32Wの原画パターン32、回路パターン60の折曲がり部60aより下の部分33Wの原画パターン33、及び回路パターン61の細くなった部分61aまでのパターン34Wの原画パターン34が形成され、主視野51Bでは、図5の回路パターン61の細くなった部分61aの上のパターン35Wの原画パターン35、回路パターン60の折曲がり部60aより上のパターン36Wの原画パターン36、及び回路パターン37の原画パターン37が形成されている。更に、原画パターン32、34、及び原画パターン36、37はそれぞれ重複部31A及び31Bに跨って形成されている。

【0051】この状態でマスクM上で電子線を走査しながら図4の主視野51A及び51Bの原画パターンを、図5のウエハW上の部分転写領域58A及び58Bに転写すると、図5において、回路パターン37W、32Wはつなぎ部分がなくなる。また、パターン33W及び36Wよりなる回路パターン60も従来の境界線59上でのつなぎ誤差はなくなり、パターン34W及び35Wよりなる回路パターン61も細くなった部分61aでのつなぎ誤差はなくなる。即ち、本例ではマスクM上の隣接する視野内に重複部を設け、高いつなぎ精度が必要なパターンをその重複部内に形成することによって、ウエハW上で高いつなぎ精度が必要な部分でのつなぎ誤差を実質的に0にすることができる。

【0052】更に、例えば図5で境界線59を横切る折れ曲がったパターン103Wを形成したい場合、その原画パターンを図4の2つのパターン101、102に分割する。この場合の図5でのパターン接続部は丸で囲んだ部分104及び105でのみ問題となる。しかしながら、このようにパターンエッジが折れ曲がっている所では、少しぐらいつなぎ誤差があっても目立たない。

【0053】最後に、本例の図1に示す投影レンズ15及び対物レンズ19よりなる対称磁気ダブレット方式の投影光学系の収差特性のシミュレーション結果の一例につき説明する。その前提として、図1のマスクMの各視

野のX方向の長さを20mm、マスクMとウエハWとの間隔を448mmとして、比較のためにマスクM上で電子線が照射される副視野53が250 μ m角である場合の収差と、副視野53が250 μ m(Y方向の幅) \times 50 μ m(X方向の幅)である場合の収差とを求めた。

【0054】図6は本例の投影光学系の収差特性のシミュレーション結果を示し、この図6において、横軸は電子線の開口半角 α (mrad)、縦軸は収差(nm)を示す。そして、図6に示すように、右下がりの直線38は回折効果による投影像のぼけ、平行な右上がりの直線40R及び40Lは2種類のコマ収差、右上がりの直線39は軸上色収差、収差が一定の直線43は倍率及び回転の色収差をそれぞれ表している。これらの収差は、副視野53の大きさには関係がない。

【0055】それに対して、図6において、点線の右上がりの平行な直線41B及び42Bはそれぞれ副視野53が250 μ m角の場合の非点収差及び像面湾曲を示し、実線の右上がりの平行な直線41A及び42Aはそれぞれ副視野53が250 μ m \times 50 μ mの場合の非点収差及び像面湾曲を示す。これによって、非点収差及び像面湾曲に関しては、副視野53を250 μ m \times 50 μ mにすることによって、250 μ m角の場合と比べて約1/5に改善されることが分かる。

【0056】また、下に凸の点線の曲線45B及び実線の曲線45Aはそれぞれ、副視野53が250 μ m角の場合、及び250 μ m \times 50 μ mの場合の収差の合計を表し、上に凸の点線の曲線44B及び実線の曲線44Aはそれぞれ、副視野53が250 μ m角の場合、及び250 μ m \times 50 μ mの場合に空間電荷効果にどれだけ収差を配分できるかを示す曲線である。ここで、収差と空間電荷効果との合計を45nmとした場合、曲線44A及び44Bに対してそれぞれ右下がりで横軸に45°で交差する接線A及びBを引き、その接点での開口半角 α を α_A 及び α_B とする。このとき、本発明者によって、開口半角 α_A 及び α_B と対応する収差との積に比例したビーム電流が流せることが確かめられている(例えばM. Nakasuji, H. Shimizu, Jpn. J. Appl. Phys. 1995 August, to be published. 参照)。

【0057】図6から、副視野53が250 μ m \times 50 μ mの場合には、副視野53が250 μ m角の場合に比べて約4.1倍のビーム電流が得られることが分かる。即ち、副視野53のX方向の幅をY方向の幅の1/5にしたことによって、このように大きいビーム電流を得ることができる。更にそのX方向の幅dXのY方向の幅dYに対する比率を1/5より小さくすると、直線42Aの像面湾曲はより小さくなり、少しずつビーム電流は増える傾向となる。

【0058】また、その比率(dX/dY)を1/5より大きくすると、1mrad付近の実際に使用する開口半角 α で、直線42Aの像面湾曲が直線43の倍率及び

回転の色収差より大きくなり、ビーム電流は急激に小さくなる。従って、本例では副視野53のX方向の幅dXをY方向の幅dYの1/5とした。次に、図1において、マスクM上を一定の幅の副視野53で走査しているとき、副視野53の内部に含まれるパターンの開口部の全面積をマスク全面について予め計算しておく。このパターンの開口部の全面積にビーム電流密度を掛けるとビーム電流が得られる。そして、空間電荷効果によるデフォーカスを補正するのに、電極16、20に与える電圧とビーム電流との関係を予め求めておく。この結果、ビーム電流の時間変化から電極16、20に与えるべき電圧が予め分かるため、その電圧を電極16、20に与えることによって空間電荷効果によるデフォーカスは補正できる。

【0059】次に、本発明による荷電粒子線転写装置の第2の実施の形態につき図7～図19を参照して説明する。上記の第1の実施の形態は、電子線の断面での強度分布の1様性が良好である場合に好適であるが、例えば電子銃を温度制限領域で使用するような場合には、その電子線の強度分布が変動したりすることがある。また、電子線の強度分布は平均としては或る対称軸の周りにガウス分布状であり、よりスループットを高めるために電子線で照射する領域(視野)を広くすると、中央部と周辺部との強度差によって積算露光量の1様性の誤差が許容範囲を超えてしまう恐れがある。そこで、以下の第2の実施の形態では、電子線の断面での強度分布が1様でない場合であっても、走査露光後の積算露光量(ドーズ)の1様性を高めることができる例につき説明する。また、図7～図13において、図1～図6に対応する部分には同一符号を付してその詳細説明を省略する。

【0060】図7は、この第2の実施の形態の電子線縮小転写装置の概略構成を示し、この図7において、光学系(電子光学系)の光軸AXに垂直にZ軸を取り、Z軸に垂直な平面内で図7の紙面に平行にX軸を、図7の紙面に垂直にY軸を取って説明する。まず、不図示の電子銃から放出された電子線は、ビーム成形アパーチャ1A上に照射され、ビーム成形アパーチャ1Aの正方形の開口で断面形状が成形された電子線EBは、第1コンデンサレンズ2Aを介してクロスオーバー4を形成した後、第2コンデンサレンズ2Bを介して平行ビームとなってマスクMに向かう。その後、電子線EBは前段の電磁偏向器5によってX方向に沿って偏向角 θ だけ偏向され、後段の電磁偏向器6によってX方向に沿って $-\theta$ だけ振り戻されて、マスクM上の1つのX方向に長い視野上に垂直に入射する。マスクMとビーム成形アパーチャ1Aとは共役であり、マスクM上でビーム成形アパーチャ1Aの開口の像である正方形の副視野53Aに電子線EBが照射される。

【0061】電磁偏向器5、6における電子線の偏向量は、装置全体の動作を統轄制御する主制御系7が偏向フ

フォーカス制御部8を介して設定する。本例では、電磁偏向器5、6に対する駆動電流は、偏向角 θ を用いて変化率が $\theta/\sin \theta$ に比例するように設定される。これによって、電子線EBはマスクM上に垂直に入射する条件を維持して、X方向に沿って一定速度で走査するようになり、マスクM及びウエハWに対する電子線の露光量(ドーズ)の分布が一様になる。

【0062】また、電磁レンズよりなるコンデンサレンズ2A及び2Bの内側にはそれぞれ導電性の円筒状の電極3A及び3Bが設置され、電極3A及び3Bには偏向フォーカス制御部8から可変の電圧が印加されている。本例では、予めマスクM上のパターン密度を調べておき、パターン密度の小さい視野内では電子線の電流密度を大きくし、パターン密度の大きい視野内ではその電流密度を小さくして、各視野間でマスクMを通過した後のビーム電流にあまり差がないようにして空間電荷効果による電子線EBのぼけを小さくしている。一方、コンデンサレンズ2A、2Bにおいても、ビーム電流が大きいと焦点距離が長くなり、ビーム電流が小さいと焦点距離が短くなるため、電子線の電流密度に応じて電極3A、3Bに印加する電圧を制御して、コンデンサレンズ2A、2Bの焦点距離を調整している。これによって、常にビーム成形アパーチャ1AとマスクMとの共役関係を維持している。

【0063】図7において、マスクMの副視野53A内のパターンを通過した電子線EBは、投影レンズ15により一度光軸AX上でクロスオーバー17を形成した後、対物レンズ19を介して縮小倍率 β (β は例えば1/4)で反転縮小されて、電子線レジストが塗布されたウエハW上の転写領域に副視野53A内のパターンの像を形成する。投影レンズ15、及び対物レンズ19は対称磁気ダブルレットの条件を満たし、且つ投影レンズ15の内部に非軸対称の電磁偏向器71、72、73が配置され、対物レンズ19の内部にも非軸対称の電磁偏向器74、75、76が設置され、主制御系7の制御のもとで偏向フォーカス制御部22を介して、電磁偏向器71～76が励磁される。更に、図7において、クロスオーバー17が形成される位置を囲むように非点収差補正用の8極の電磁コイル18が配置されている。電磁コイル18における補正量は偏向フォーカス制御部22により設定される。本例では、マスクM上のX方向での電子線EBの照射位置に応じて、電磁偏向器71～73の励磁電流、及び電磁偏向器74～76の励磁電流を同時に変化させることで、投影レンズ15及び対物レンズ19よりなる投影光学系の収差をダイナミックに補正する。これと同時に、その投影光学系のレンズ電流を変化させることによってダイナミックにフォーカス位置を調整し、電磁コイル18の電流を変えることによりダイナミックに非点収差の調整を行う。

【0064】また、投影レンズ15とマスクMとの間

に、それぞれ光軸AXを挟むように配置されたX方向に長い1対の平板状の導電体よりなる静電偏向器13及び14が配置されている。前段の静電偏向器13は電子線EBをY方向に偏向し、後段の静電偏向器14はその電子線EBを振り戻す役割を有し、静電偏向器13、14における電子線の偏向量は、主制御系7が偏向フォーカス制御部22を介して設定する。

【0065】図8は、図7の転写装置を+X方向に見た一部を断面とした側面図であり、この図8に示すように、静電偏向器13及び14はそれぞれY方向に所定間隔で配置された1対の平板状の導電体より構成されている。図7に戻り、また、対物レンズ19とウエハWとの間にそれぞれ8極の2段の静電偏向器21が配置され、静電偏向器21の偏向量も偏向フォーカス制御部22により設定されている。静電偏向器21によって高速にウエハW上での電子線EBの照射位置をX方向、及びY方向に変化させることができる。本例では、マスクMとウエハWとはY方向に同期して走査されるが、その際のマスクMとウエハWとの間の相対振動の補正、及び投影光学系のディストーション等の歪の補正を行うためにその静電偏向器21が使用される。

【0066】次に、マスクMを移動するステージ系及びウエハWを移動するステージ系の構成は、図1及び図2に示す第1の実施の形態と同様である。即ち、マスクMはマスクステージ9によってY方向に連続移動し、X方向にステップ移動できるように構成され、ウエハWは、試料台23に載置された状態でY方向に連続移動できると共に、X方向にステップ移動できるように構成されている。

【0067】図7において、不図示の露光データ記憶装置より、露光対象のマスクMのパターン構成や、ウエハW上の複数の転写領域の配列の情報等の露光データが主制御系7に供給される。この露光データに基づいて、主制御系7は偏向フォーカス制御部8、22を介してマスクM上での電子線の走査速度及び転写像の焦点位置等を制御すると共に、マスクステージ9及びウエハ側の試料台23の位置及び走査速度等を制御することによって、ウエハW上の各転写領域にそれぞれマスクMの転写用のパターンの縮小像を転写する。

【0068】図9は、本例の電子線縮小転写装置による転写方法の説明図であり、この図9において、マスクMの転写用パターンはY方向に境界領域52A、52B、52C、…を挟んで、複数のX方向に細長い長方形の主視野51A、51B、51C、…に分割されている。これらの主視野51A、51B、…にはそれぞれウエハに転写すべきパターン形状に対応する電子線の透過部が設けられ、境界領域52A、52B、…は、電子線を遮断しあるいは拡散する非パターン領域である。

【0069】そして、図7の電磁偏向器5、6等を介してマスクM上の主視野51AをY方向に覆う1辺の幅L

の正方形の副視野53Aに電子線EBが照射され、主視野51Aを通過した電子線EBは、ウエハW上の1つの転写領域55A内の正方形の露光領域56Aに垂直に入射する。この状態で、電磁偏向器5、6を介して、マスクM上を電子線EBの副視野53Aが順次+X方向、及び-X方向に走査される。この際に、各主視野51A、51B、…のX方向（長手方向）の長さは、転写対象の半導体チップの1チップ分の原版パターンの短辺方向の幅に等しく設定してある。但し、その各主視野51A、51B、…のX方向の長さをその原版パターンの短辺方向の幅より広く設定してもよい。これによって、走査方向にはウエハW上でつなぎ目が発生することがなくなり、高精度に転写が行われる。

【0070】ところが、このようにマスクM上の各主視野51A、51B、…の走査方向の長さを長くすると、光軸AXから離れた位置での収差が増加してしまう。そこで、本例では先ず、図7に示したように投影レンズ15及び対物レンズ19よりなる対称磁気ダブレット方式の軸対称の光学系に複数の電磁偏向器71～76を設け、これらの電磁偏向器71～76を動作させて軸外収差の低減を計っている。更に、図9において、マスクM上の副視野53のX方向（走査方向）の幅とY方向の幅とは実質的に等しく設定されている。これによってビーム面積が最大になり、電子-電子の衝突による電子線のボケが最小限に抑えられ、高い解像度のパターン像を転写できる。

【0071】また、本例においても第1の実施の形態と同様に、図9において、副視野53A（電子線EB）が±X方向に走査されるのと同期して、マスクMが-Y方向（又は+Y方向）に連続的に走査されると共に、ウエハWが+Y方向（又は-Y方向）に連続的に走査される。その結果、マスクM上を軌跡54に沿って順次電子線EBの副視野53Aが+X方向、及び-X方向に交互に走査して、マスクM上の主視野51A、51B、…のパターンが順次、ウエハW上の転写領域55A内で軌跡57に沿ってX方向に細長い長方形の部分転写領域58A、58B、…に転写される。マスクMの走査方向とウエハWの走査方向とが逆であるのは、図7の投影レンズ15及び対物レンズ19によりウエハW上に反転像が投影されるからである。その後、ウエハW上の隣接する転写領域55Bにも同様にマスクMのパターンが転写される。

【0072】この際に、本例においても第1の実施の形態と同様にY方向のつなぎ誤差を低減するために、マスクM上の主視野51A、51B、…に対応するウエハW上の部分転写領域58A、58B、…はY方向に部分的に重なるように接続されている。このようにウエハW上で部分転写領域58A、58B、…をY方向に所定幅ずつ重ねて継ぎ合わせるために、図7の2つの静電偏向器13、14が使用される。ここで、マスクM上の主視野

51A、51B、…のY方向の幅dY1（重複して転写される一方の部分の幅を除いた値とする）、境界領域52A、52B、…のY方向の幅dY2、及びマスクMからウエハWへの縮小倍率 β を使用して、マスクMの走査速度VMとウエハWの走査速度VWとの関係は(1)式で表される。これによって、マスクM上で転写されるパターンは、ほぼ光軸AXを横切る位置に達した各主視野51A、51B、…となり、ウエハW上の各部分転写領域毎に、投影されるパターン像の焦点位置や投影像の歪み等の諸収差を補正しながら転写が行われる。

【0073】ここで、図9における電子線EBの照射領域である副視野53Aの幅Lの決定方法の一例につき説明する。図10は、図9の副視野53Aを含む領域の拡大図であり、この図10において、マスクM上の主視野51AのY方向の両端に非パターン領域76A、77Aが形成され、主視野51Aの非パターン領域77Aとその上の主視野51Bの非パターン領域76Bとの間の領域が周辺部より厚い棧78Aとなり、非パターン領域77A、76B及び棧78Aが図9の境界領域52Aに対応している。その主視野51A上を軌跡54に沿って、電子線による一辺の幅Lの副視野53AがX方向に走査される。

【0074】この場合、本例の電子銃が温度制御領域で使用されているものとする、その電子銃からの電子線のビーム強度Iはカソードの仕事関数の不均一性によって細かに変動すると共に、カソードの温度むらによって比較的大きく変動する。図11は、そのような電子線のビーム強度Iの分布の測定結果の一例を示し、図11の横軸は図7のビーム成形アパーチャ1A上でのX方向の位置を表し、縦軸はビーム強度Iを表している。なお、その横軸での長さは、ビーム成形アパーチャ1AからマスクMへの投影倍率を用いてマスクM上でのX方向（走査方向）の長さに換算してある。図11において、ビーム強度Iは細かに振動すると共に、最大となる位置と最小となる位置とのX方向の間隔が（これを「リップル幅」と呼ぶ）Gで緩やかに変動している。そのビーム強度Iの分布は、時間と共に変化しているが、通常は最大となる位置と最小となる位置とのリップル幅Gはあまり大きくは変化しない。

【0075】そこで、本例では図10の副視野53AのX方向の幅Lをそのリップル幅Gよりも広くしてある。このためには、図7のビーム成形アパーチャ1Aの開口の幅をマスクM上に換算してリップル幅Gよりも広くすればよい。一例として、幅Lをリップル幅Gの計測値の平均値の2倍、4倍等の偶数倍に設定してもよい。この場合、走査方向（X方向）に対しては狭い範囲内では、走査による積分効果によって露光量のむらは生じない。また、ビーム成形アパーチャ1Aに入射する電子線のビーム強度Iが変動しても、そのリップル幅G以上の幅の電子線が取り込まれているため、マスクM上を副視野5

3Aが走査する過程で次第に露光量が所定の許容値を超えて変化することもなく、ウエハW上での積算露光量の分布も一様となる。

【0076】更に、図10では、主視野51AとマスクMの左端のエッジとの間の非パターン領域は広いため、走査の開始時でも幅Lの副視野53Aの全体に電子線を照射することができる。しかしながら、主視野51AとマスクMのエッジとの間が狭いような場合には、走査の開始時に幅Lの副視野53Aの全体に電子線を照射すると、不要な電子線がマスク温度を不要に上昇させることになる。そこで、図7のビーム成形アパーチャ1Aの底部に開口のX方向の幅を制限する第2のビーム成形アパーチャ（不図示）を配置し、この第2のビーム成形アパーチャを用いて、走査の開始時には副視野53AのX方向の幅を次第に広くするようにして、走査の終了時には副視野53AのX方向の幅を次第に狭くするようにしてもよい。これによって、主視野51AとマスクMのエッジとの間を狭くすることができ、マスクM内により大面積の回路パターンを配置できる。

【0077】最後に、図7及び図8に示す本例の投影レンズ15及び対物レンズ19よりなる対称磁気ダブレット方式の投影光学系に、複数の電磁偏向器71～76を設けた系の収差特性のシミュレーション結果の一例につき説明する。一例として、図7及び図8におけるマスクMの各主視野51A、51B、…のX方向の長さを10mm、マスクMとウエハWとの間隔を560mmとして、副視野53Aが250 μ m角である場合、即ち副視野53Aの幅Lが250 μ mである場合について収差を計算した。

【0078】図12は本例の投影光学系の収差特性のシミュレーション結果を示し、この図12において、横軸は電子線の開口半角 α (mrad)、縦軸は収差 (nm)を示す。そして、図12に示すように、右上がりの直線98は球面収差による投影像のぼけ、平行な右上がりの直線90R及び90Lは2種類のコマ収差、右上がりの直線99は軸上色収差、収差が一定の直線93は倍率及び回転の色収差をそれぞれ表している。これらの収差は、副視野53Aの大きさが250 μ m角であるとして、図7の電磁偏向器71～76を動作させた場合の収差である。

【0079】更に、右上がりの平行な直線91及び92はそれぞれ非点収差及び像面湾曲を示し、僅かに下に凸の曲線95はこれらの収差の合計を表し、上に凸の曲線94は、空間電荷効果（電子-電子相互作用）にどれだけ収差を配分できるかを示す曲線である。ここで、収差と空間電荷効果との合計を100nmとした場合、曲線94に対してそれぞれ右下がり及び横軸に45°で交差する接線Bを引き、その接点での開口半角 α を α_A とする。このとき、本発明者によって、開口半角 α_A と対応する収差との積に比例したビーム電流を流すことができ

ることが確かめられている。

【0080】また、点線の直線96は歪収差（値は3.7nm）であり、これによって十分高精度のパターンを形成できることが分かる。また、この場合の開口半角 α_A は7.6mradと大きいため、電子-電子相互作用による電子ビームのぼけも小さい。

【0081】次に、本発明の第3の実施の形態につき図13～図17を参照して説明する。本例でも、図7及び図8に示す電子線縮小転写装置と基本的に同じ構成の転写装置を使用して、電子線の照射領域である副視野でマスクを走査して露光を行うが、本例の電子線の強度分布はほぼガウス分布状となっている。

【0082】図13は、本例のマスク上で幅Lの正方形の副視野53Bに照射される電子線のX方向（走査方向）、及びY方向への強度分布を示し、この図13に示すようにこの副視野53B内の電子線の強度分布Sは、中心でのビーム強度Iを1（任意単位）とすると、その中心から最も遠い頂点でのビーム強度Iが0.9となるようなガウス分布状である。従って、この副視野53Bを用いてステップアンドリビート方式で転写を行うと、ウエハ上では最大積算露光量を1とすると最小積算露光量は0.9となって、約10%の積算露光量の不均一性が生じることになる。

【0083】これに対して、本例では図14(a)に示すように、マスク上で副視野53BをX方向に走査して露光を行うため、ウエハ上でX方向に沿った各点での露光量むらは生じない。但し、図13から分かるように、副視野53B内での電子線のY方向の強度分布は平均的に山型に変化しているため、走査露光後のウエハ上での積算露光量Dは、非走査方向（Y方向）に対して図14(b)に示すように、幅Lの範囲内の中央部での値は0.97と小さくなり、最も遠いエッジ部での値は0.94に増加して凸の曲線状になる。従って、非走査方向（Y方向）に対する積算露光量の不均一性は約3%（ $=100 \times 0.03 / 0.97$ ）に改善される。即ち、本例のように走査露光を行うことによって、ステップアンドリビート方式で転写を行う場合に比べて積算露光量の均一性の誤差（不均一性）は約1/3程度に改善されることになる。

【0084】更に、図14(b)に示すような非走査方向への積算露光量のむらを無くするためには、副視野53Bの幅をY方向の中央部で狭くすればよい。図15は、そのようにY方向の幅を中央部で狭くした副視野53Cでの電子線の強度分布を示し、この図15において、副視野53Cは、一辺の幅Lの正方形から-X方向側の辺の近傍の円弧状の領域79を削除した形状である。電子線の強度分布Iは、中央部での値を1とすると最も遠い位置での値は0.9である。

【0085】その副視野53Cを用いて、図16(a)に示すようにマスクをX方向に走査すると、Y方向の中

中央部での積算露光量は、図14(a)の場合に比べて少なくなる。従って、走査露光後のウエハ上での積算露光量Dは、非走査方向(Y方向)に対して図16(b)に示すように、0.94で一定となる。但し、この際の積算露光量の基準は図14(b)での値である。即ち、本例のように正方形の一部を除去した形状の副視野53Cを用いて走査露光を行うことによって、正方形の副視野53Bを用いて走査露光を行う場合よりも積算露光量の均一性を改善できることが分かる。

【0086】図17(a)は、そのような非正方形の副視野53Cを生成するためのビーム成形アパーチャ部の構成例を示す平面図、図17(b)はその側面図であり、先ず図17(a)に示すように、ビーム成形アパーチャ1Bの中央部に2点鎖線の正方形80Aに対して円弧状の凸部を設けた開口80が形成されている。また、図17(b)に示すように、ビーム成形アパーチャ1Bの底部に先端が円弧状の電子線遮断板81が配置され、この電子線遮断板81は、回転する回転ステージ82、X方向に移動するXステージ83、及びY方向に移動するYステージ84を介してベース85上に載置されている。即ち、電子線遮断板81は、ビーム成形アパーチャ1Bの開口80の底部で、回転方向、X方向、及びY方向に微動できるように配置されている。

【0087】この場合、電子線遮断板81を開口80の底部にかからないようにしておくことで、図15に示すような正方形に対して一部が狭くなった形状の副視野53Cを生成できる。また、電子銃の経時変化等によって、電子線の強度分布が初期の分布から次第に変化することもある。そのような場合には、その強度分布の変化に対して、走査露光後のウエハ上での積算露光量の分布が均一になるように、図17(a)に示すように、電子線遮断板81で開口80を通過した電子線の一部を遮断するようにする。これによって、経時変化等で電子線の強度分布が変化してもウエハ上での積算露光量の分布を常に均一に維持できる。

【0088】なお、電子線の照射領域である副視野53A、53B、53C等の基本的な形状は必ずしも正方形にする必要はなく、長方形や円弧状等でもよい。但し、正方形で有れば、収差が最小の状態転写が行える。また、本発明は例えばイオンビーム等を用いた荷電粒子線転写装置にも適用できる。このように、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得る。

【0089】

【発明の効果】本発明の第1の荷電粒子線転写装置によれば、例えば対称磁気ダブレット方式のような軸対称の投影手段を用いているため、発生する収差は光軸からの距離のみの関数となる。また、マスク上を走査する荷電粒子線の断面形状は走査方向の幅が非走査方向の幅より狭くなっているため、マスク上での荷電粒子線の照射領

域内では収差はほぼ一定とみなすことができ、この収差は簡単な機構で容易に補正できる。従って、マスク上の転写用のパターンを荷電粒子線で走査することによって、そのパターンを転写対象の基板上に転写する際に、簡単な構成で収差を抑制して高精度にパターンを転写できる利点がある。

【0090】この場合、走査手段により走査される荷電粒子線の偏向角を θ としたとき、その走査手段に対する駆動信号を、変化率が $\theta/\sin \theta$ に比例するように設定したときには、マスク上での荷電粒子線の走査速度が一定になる。従って、転写対象の基板上での露光量分布を均一にできる利点がある。また、軸対称の投影手段が、複数の電磁レンズより構成され、これら複数の電磁レンズ中の少なくとも1つの電磁レンズ内に配置された実質的に軸対称の導電性の電極と、走査手段を介して荷電粒子線でそのマスクを走査する際に、その電極に印加する電位を制御することによってその投影手段の焦点距離を制御する焦点距離制御手段と、を備えたときには、マスク上での荷電粒子線の走査位置に応じて静電方式によって、その基板上での荷電粒子線による投影像のフォーカス位置を高い応答速度で補正できる利点がある。

【0091】更に、そのマスクを透過した荷電粒子線のビーム電流の時間変化に応じてその投影手段の焦点距離を補正する焦点距離補正手段を設けたときには、そのマスクのパターン密度等に応じて空間電荷効果によって投影像のフォーカス位置が変化したときでも、そのフォーカス位置を補正して投影光学系での合焦条件を常に満足できる利点がある。

【0092】次に、本発明の第2の荷電粒子線転写装置によれば、荷電粒子線の強度分布のばらつきを走査後に相殺あるいは低減するような断面形状を有する荷電粒子線でマスク上を走査しているため、その荷電粒子線の強度分布にむらがある場合でも、走査後の積算露光量のむらが少ない利点がある。この際に、マスクを透過した荷電粒子線の非点収差を補正するための非軸対称の非点補正コイル、又は偏向装置を設けた場合には、例えば対称磁気ダブレット方式のような軸対称の投影手段に対して非軸対称の非点補正コイル等で軸外収差を低減できるため、残存する収差は副視野の半径の関数となる。この変形が一定の場合には副視野を正方形にしたとき最大の副視野面積となる。従って、正方形のビームで走査したときに最大のビーム電流が得られ、スループットが最大となる。

【0093】また、荷電粒子線の強度分布が前記走査方向においてリップルを持って変動する場合に、荷電粒子線の断面形状を、走査方向の幅がそのリップルの幅より広くなるようにするか、あるいは、荷電粒子線の強度分布が、中央部で高く周辺部で低い場合に、その荷電粒子線の断面形状を、走査方向に垂直な非走査方向の中央部が狭くなるようにしたときには、積算露光量の均一性が

改善される利点がある。

【0094】また、その走査方向に垂直な非走査方向にそのマスク及びその基板を同期して移動するステージ装置を設け、そのマスクとして、パターン領域がその非走査方向に対して、その走査手段により走査される荷電粒子線の長手方向の幅に対応する幅の複数の視野に分割されると共に、各隣接する2つの視野が互いに重複する部分を有するマスクが設置された際に、そのステージ装置を介してそのマスク及びその基板をその非走査方向に移動しつつ、その走査手段を介してそのマスク上で荷電粒子線をその走査方向に走査することによって、そのマスク上の各隣接する2つの視野の互いに重複する部分をその基板上に重ねて転写する場合には、その隣接する視野内で重複する部分に高い精度を要するパターンを形成しておくことによって、そのパターンを高い精度で転写できる利点がある。

【0095】また、マスクを透過した荷電粒子線のビーム電流の時間変化に応じてその投影手段の焦点距離、非点収差、及び偏向器電流のすべてを補正する結像特性補正手段を設けた場合には、マスクのパターンの粗密によらずに良好な結像特性が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による荷電粒子線転写装置の第1の実施の形態の電子線縮小転写装置を示す一部を切り欠いた構成図である。

【図2】図1の電子線縮小転写装置をX方向に見たときの一部を切り欠いた側面図である。

【図3】その第1の実施の形態における転写動作の説明に供する斜視図である。

【図4】その第1の実施の形態におけるマスクM上の隣接する視野内のパターン配置の一例を示す拡大平面図である。

【図5】図4のマスクMを使用してウエハW上に転写されるパターンを示す拡大平面図である。

【図6】その第1の実施の形態の対称磁気ダブレット方式の投影光学系の収差特性の一例を示す図である。

【図7】本発明の第2の実施の形態の電子線縮小転写装置を示す一部を切り欠いた構成図である。

【図8】図7の電子線縮小転写装置をX方向に見たときの一部を切り欠いた側面図である。

【図9】その第2の実施の形態における転写動作の説明に供する斜視図である。

【図10】図9の副視野53Aを含む領域の拡大平面図である。

【図11】電子線の強度分布の一例を示す図である。

【図12】その第2の実施の形態における対称磁気ダブレットに電磁偏向器と非点収差補正コイルとを組み合わせることで軸外収差を低減する方式の投影光学系の収差特性の一例を示す図である。

【図13】本発明の第3の実施の形態の電子線の照射領域（副視野53B）の強度分布を示す図である。

【図14】（a）はその図13の副視野53Bの走査を示す図、（b）は走査露光後のY方向の積算露光量の分布を示す図である。

【図15】図13の例に対してY方向の中央部の幅を狭くした副視野53Cの電子線の強度分布を示す図である。

【図16】（a）はその図15の副視野53Cの走査を示す図、（b）は走査露光後のY方向の積算露光量の分布を示す図である。

【図17】（a）は図15の副視野53Cを生成するためのビーム成形アパーチャ部の構成例を示す平面図、（b）は図17（a）の一部を切り欠いた側面図である。

【符号の説明】

M マスク

W ウエハ

1, 1A, 1B ビーム成形アパーチャ

2A, 2B コンデンサレンズ

3A, 3B 円筒状の導電性の電極

5, 6 電磁偏向器

7 主制御系

8, 22 偏向フォーカス制御部

10 マスクステージ

13, 14 静電偏向器

15 投影レンズ

16, 20 円筒状の導電性の電極

18 非点収差補正用の8極の電磁偏向器

19 対物レンズ

21 2段の8極の静電偏向器

23 試料台

24 可動ステージ

51A, 51B, 51C 主視野

52A, 52B, 52C 境界領域

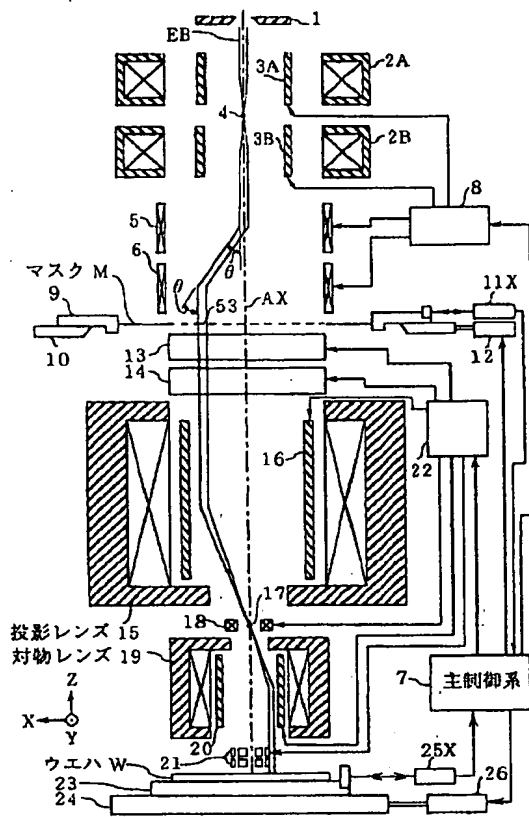
53, 53A, 53B, 53C 副視野

55A 転写領域

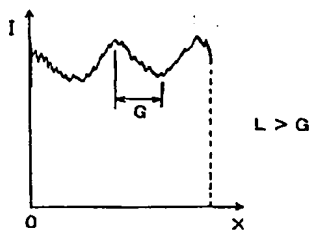
58A, 58B, 58C 部分転写領域

71, 72, 73, 74, 75, 76 軸外収差を低減する電磁偏向器

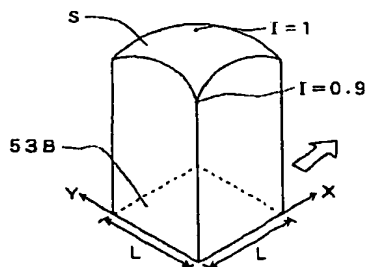
【図1】



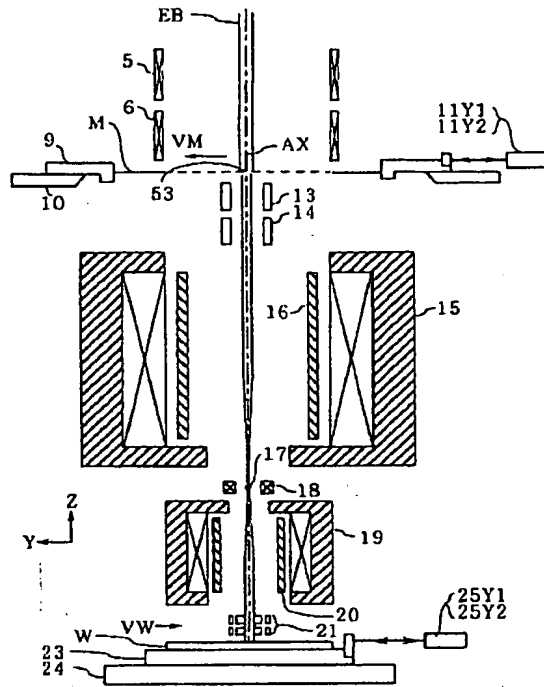
【図11】



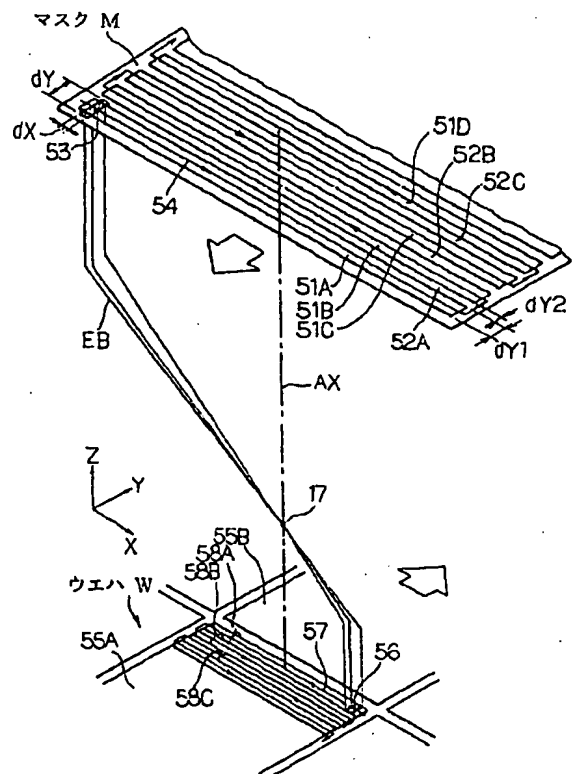
【図13】



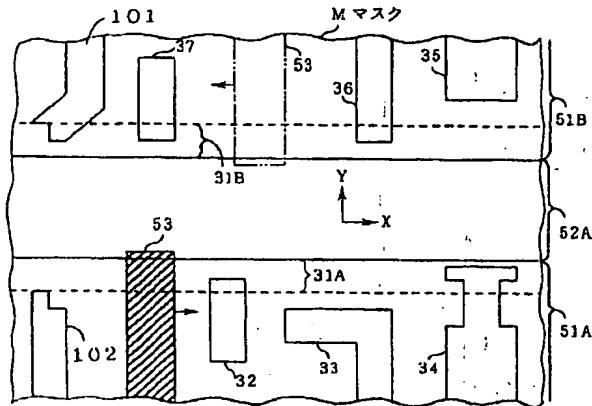
【図2】



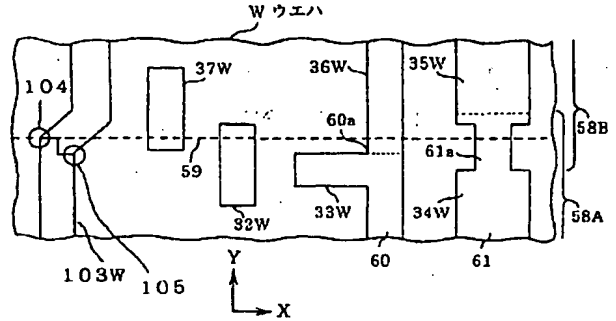
【図3】



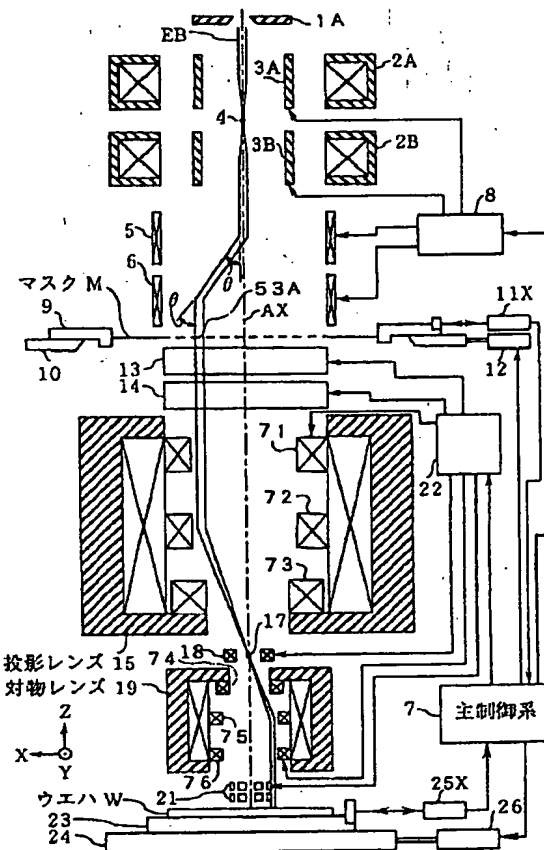
【図4】



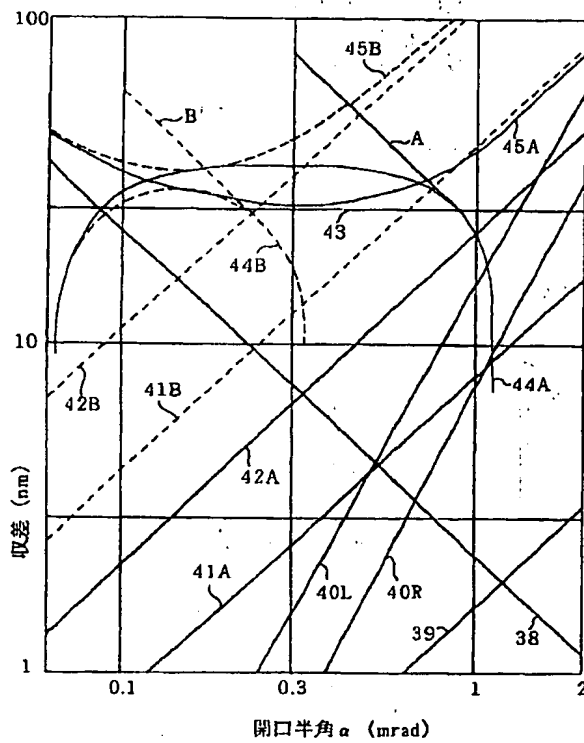
【図5】



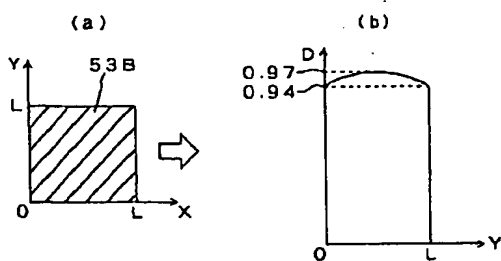
【図7】



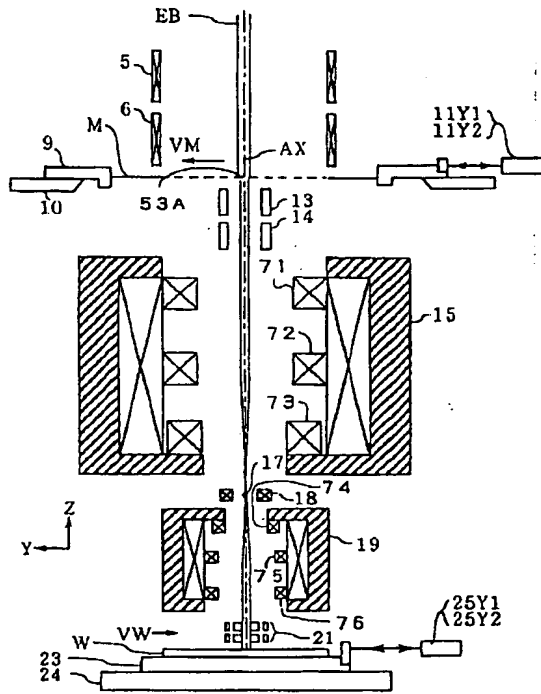
【図6】



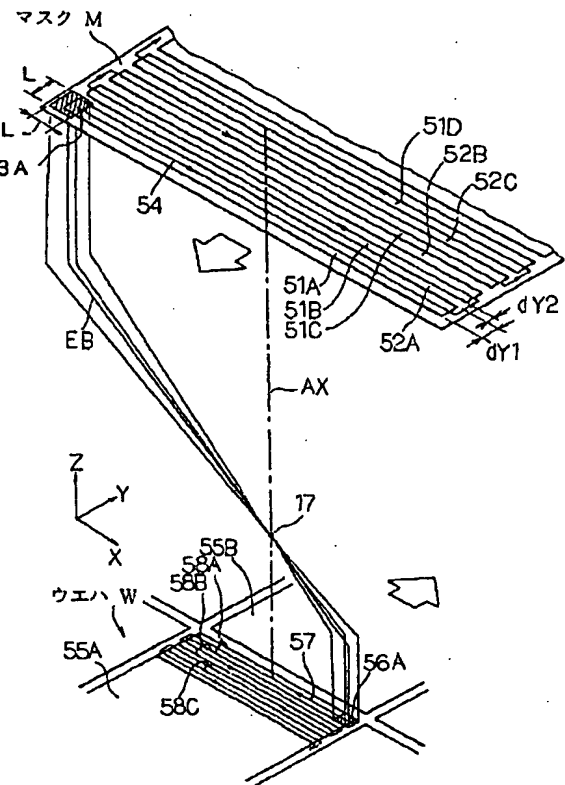
【図14】



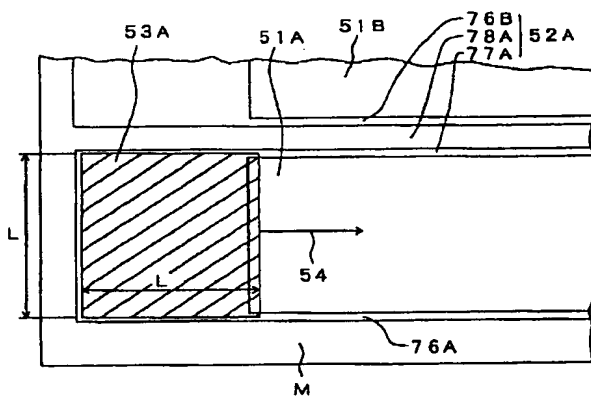
【図8】



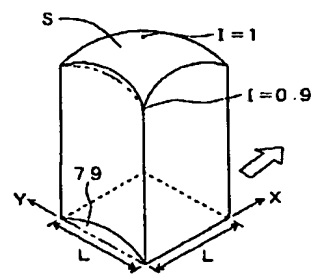
【図9】



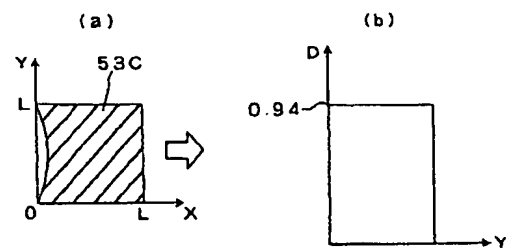
【図10】



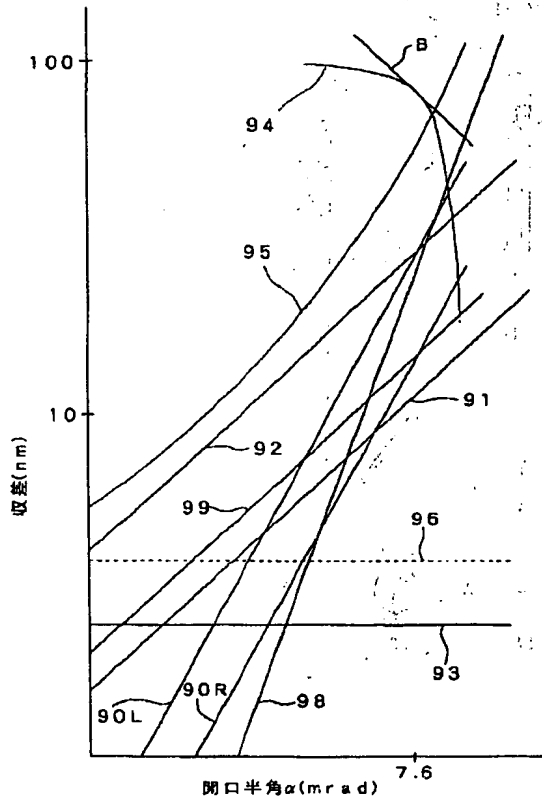
【図15】



【図16】



【図12】



【図17】

